

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»

«ДОСЛІДЖЕННЯ КРИВОЇ ПРУЖНОСТІ
ВОДЯНОЇ ПАРИ ПРИ МАЛИХ ТИСКАХ»

Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи
для студентів
інженерно-технічних спеціальностей

Київ
НТУУ «КПІ»
2016

Дослідження кривої пружності водяної пари при малих тисках [Текст]: Метод. вказівки до виконання лабораторної роботи для студентів інженерно-технічних спеціальностей /Уклад В.В. Дубровська, В.І. Шкляр. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

Рекомендовано вченою радою
Інституту енергозбереження та
енергоменеджменту, НТУУ „КПІ”
(Протокол № 3 від 31 жовтня 2016)

На в ч а л ь н е в и д а н н я

**Дослідження кривої пружності водяної пари при малих
тисках**

Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи
для студентів інженерно-технічних спеціальностей

Укладачі: Дубровська Вікторія Василівна, к.т.н, доцент,
Шкляр Віктор Іванович, к.т.н, доцент

Відповідальний редактор: Студенець В.П., к.т.н., доцент

Рецензент: Гавриш А.С., к.т.н., доцент

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Мета і основні завдання роботи.....	5
2 Основні теоретичні відомості.....	6
3 Опис експериментальної установки.....	12
4 Заходи безпеки під час виконання лабораторної роботи....	14
5 Порядок і рекомендації щодо виконання лабораторної роботи.....	15
6 Обробка експериментальних даних.....	19
Контрольні запитання.....	24
Література.....	25
Додаток 1.....	26

ВСТУП

Сучасні енерго-технологічні системи вимагають від фахівця глибокого розуміння законів і принципів дії теплового обладнання, вбудованого в ці системи. Тільки досить високий рівень загальної теплотехнічної підготовки дозволить фахівцеві вирішувати завдання по створенню сучасних економічно вигідних теплових установок і знаходити шляхи підвищення їх енергетичної ефективності.

Лабораторні дослідження дозволяють більш глибоко розуміти основні закони термодинаміки, принципи роботи теплових установок. Обробка дослідних даних може здійснюватися за допомогою діаграм і довідкових таблиць, вміння користуватися якими необхідно інженеру.

Водяна пара є найбільш поширеним реальним робочим тілом, яке застосовується у різних галузях науки й техніки. Для успішного вирішення інженерних завдань, пов'язаних з процесами випарювання, конденсації та теплообміну, а також з роботою парових турбін теплових і атомних електростанцій, необхідно знати основні параметри води та водяної пари в будь-яких станах.

1 МЕТА І ОСНОВНІ ЗАВДАННЯ РОБОТИ

Мета роботи - поглибити знання з теорії властивостей реальних газів на прикладі водяної пари; експериментально встановити залежність абсолютного тиску насиченої водяної пари p_H від її температури T_H у процесі пароутворення; навчитися визначати теплоту пароутворення водяної пари r на підставі експериментально одержаної кривої пружності.

Завдання

1. У процесі виконання експерименту дослідити на лабораторному стенді процес утворення водяної пари при тисках менших та рівному атмосферному.

2. Обробити дослідні дані та розрахувати числові значення абсолютного тиску p_H і температури насичення T_H . Побудувати криву пружності насиченої водяної пари $p_H = f(T_H)$.

3. На підставі експериментально одержаної кривої пружності обчислити теплоту пароутворення для водяної пари r .

4. Порівняти розрахункові значення теплоти пароутворення і температури насичення з табличними (за таблицями теплофізичних властивостей води та водяної пари) та оцінити відносну похибку.

Виконання лабораторної роботи починають після детального ознайомлення з методичними вказівками.

2 ОСНОВНІ ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

Речовина в залежності від зовнішніх умов (тиск і температура) може перебувати в різних агрегатних станах – твердому, рідкому і газоподібному.

Термодинамічну систему, що складається з різних за своїми властивостями частин, відокремлених одна від одної поверхнями розділу, називають гетерогенною. Кожна гомогенна (однорідна, суцільна) частина гетерогенної системи, яка обмежена поверхнею розділу і характеризується однаковими фізичними властивостями у всіх точках, називається фазою.

Таким чином, фаза може розглядатися як гомогенна термодинамічна система.

В природі існують лише три агрегатні стани, а число фаз може бути необмеженим. Наприклад, тверда речовина може співіснувати в декількох фазах, що відрізняються між собою кристалічними модифікаціями.

Фазовий перехід є переходом речовини з однієї фази в іншу через поверхню розділу фаз. Розрізняють фазові переходи першого і другого роду.

Відмінною особливістю фазового переходу першого роду є стрибкоподібна зміна питомого об'єму v і питомої ентропії s .

Внаслідок стрибкоподібної зміни ентропії фазові переходи першого роду протікають з поглинанням або виділенням теплоти,

яка називається **теплотою фазового переходу**. До таких переходів відносяться зміни агрегатного стану (випаровування, конденсація, плавлення, затвердіння, сублімація) або перехід речовини в різні кристалічні модифікації (наприклад, вугілля – алмаз).

Фазовий перехід другого роду мають деякі метали в процесі переходу в надпровідний стан, перехід металів з феромагнітного в парамагнітний стан і ін. При фазовому переході другого роду не відбувається стрибкоподібної зміни об'єму і ентропії, а отже, немає і теплоти фазового переходу. Характерною ознакою тут є стрибок в значеннях питомої теплоємності, коефіцієнтів термічного розширення і стиснення.

Для інженерів енергетичних спеціальностей представляє інтерес фазовий перехід першого роду.

Для аналізу різних термодинамічних процесів зміни стану H_2O широке застосування знаходять фазові діаграми.

Фазова діаграма $p - T$ для води і водяної пари

Розглянемо однокомпонентну систему – воду. Для води можливе одночасне існування кількох фазових станів при певних параметрах [1]. Водяна пара одержується в процесі пароутворення, тобто фазового переходу речовини з рідкої фази у газоподібну. Перетворення рідини в пару відбувається в процесі випаровування або кипіння.

Водяна пара - реальний газ, у якого зв'язок між параметрами і функціями стану знайдений тільки дослідним шляхом. Результати експериментів представлені у вигляді таблиць і діаграм.

Області існування води в різних фазових станах [1] можна представити в діаграмі **p - T** (рис. 1).

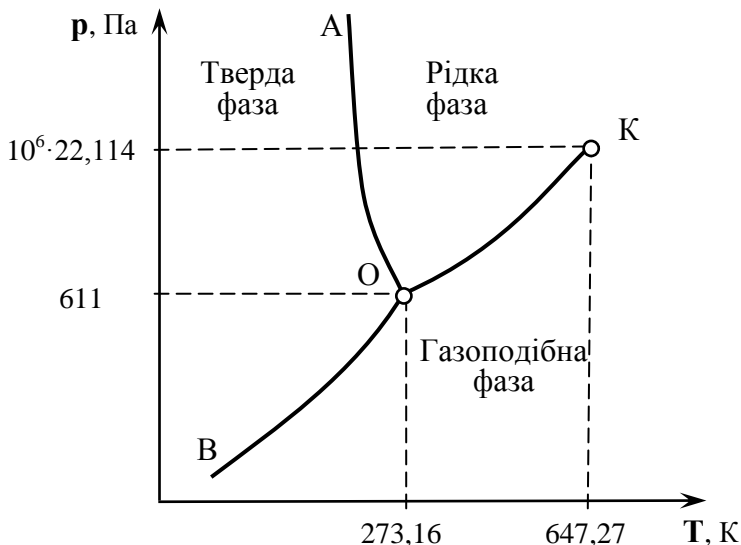


Рис. 1. Фазова діаграма **p - T** - для води.

На кривій фазового переходу в **p - T** – діаграмі стан, в якому співіснують три фази – тверда (сніг, лід), рідка (вода), газоподібна (водяна пара), зображується точкою О – потрійною точкою (рис. 1). Для води потрійній точці відповідає $T_0 = 273,16$ К і тиск $p_0 = 611$ Па.

На діаграмі:

- лінія ОА – крива плавлення (затвердіння) – лінія фазово-

го переходу твердої і рідкої фази: зліва від неї лід, праворуч – рідина;

- лінія ОК – крива кипіння (конденсації) – лінія фазового переходу рідкої і парової фази води: зліва від неї рідина, праворуч – пара;

- лінія ОВ – крива сублімації – лінія фазового переходу твердої фази води і пари: зліва від неї лід, праворуч – пара.

На лініях фазового переходу можливе існування двох фаз води: на ОА – лід + рідина; на ОК – рідина + пара; на ОВ – лід + пара.

Лінія насичення ОК закінчується в критичній точці К, що має параметри: $T_{\text{кр}}=647,27 \text{ К}$, $p_{\text{кр}}=22,114 \cdot 10^6 \text{ Па}$, $v_{\text{кр}}=0,00326 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Точка **К** відповідає критичному стану речовини, коли теплота пароутворення дорівнює 0 і обидві рівноважно співіснуючі фази (рідина і пара) стають тотожними – зникають відмінності між ними. Критична точка є кінцевою точкою лінії фазового переходу "рідина – пара". Область вище граничних кривих відображає надкритичний стан води, при якому немає явної відмінності між рідиною і паром, а перехід з рідкої фази в парову здійснюється миттєво.

Перехід речовин із заданим тиском p_n з рідкої фази у газоподібну відбувається, як відомо, за певної температури T_n , що називається **температурою насичення**, та здійснюється за рахунок підведення теплоти пароутворення q .

Кожний рівноважний двофазний стан “рідина – пара” відображається точкою в $p - T$ –діаграмі, а крива **ОК**, що з'єднує такі точки, являє собою залежність $p_H=f(T_H)$ і називається кривою фазової рівноваги (крива пружності).

Точки, що лежать на $p - T$ – діаграмі по обидва боки від кривої пружності, відповідають однорідним фазам речовини.

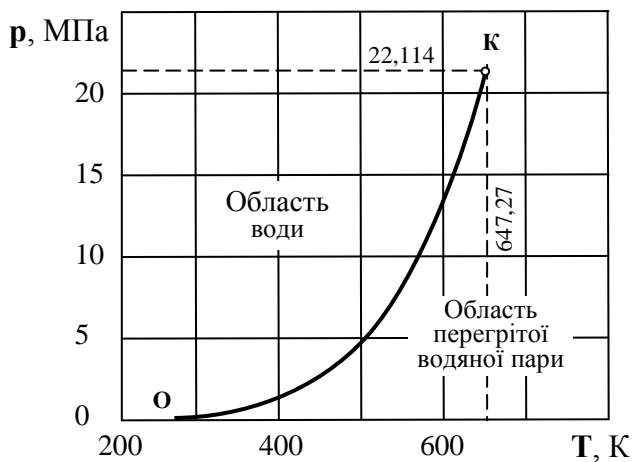


Рис. 2. Крива кипіння (конденсації) води в $p - T$ – діаграмі.

У технічній термодинаміці для процесів фазових переходів хімічних однорідних речовин справедливо рівняння Клайперона-Клаузіуса:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{q_{фп}}{T \cdot \Delta v}, \quad (1)$$

де p – тиск; T – температура; $q_{фп}$ – теплота фазового переходу;

Δv – різниця питомих об'ємів фаз.

Якщо використовувати позначення, прийняті для водяної пари, то рівняння (1) набуває вигляду:

$$\frac{dp}{dT} = \frac{r}{T_H \cdot (v'' - v')}, \quad (2)$$

де r – теплота пароутворення, кДж/кг; T_H – температура фазового переходу (для процесу пароутворення температура насичення), К; v'' , v' – питомі об'єми фаз, що знаходяться у рівновазі (для процесу пароутворення – питомі об'єми сухої насиченої пари та киплячої води), м³/кг; p_H – абсолютний тиск насиченої водяної пари, кПа; $\frac{dp_H}{dT_H}$ – похідна від тиску за температурою, що

взята на кривій фазового переходу або кривій пружності, кПа/К.

Формулу (2) використовують при дослідженнях термодинамічних властивостей води і водяної пари для визначення питомих об'ємів або теплоти пароутворення. Так, наприклад, якщо при певній температурі T_H якимось чином знайдені значення похідної $\frac{dp_H}{dT_H}$ і питомих об'ємів, то за формулою (2) можна розра-

хувати величину теплоти пароутворення r .

З рівняння (2) отримаємо рівняння для розрахунку теплоти фазового переходу:

$$r = T_H (v'' - v') \frac{dp_H}{dT_H}, \quad (3)$$

Абсолютні тиск p_H і температура T_H обчислюються за формулами:

$$p_H = p_{\text{БАР}} - p_{\text{ВАК}}, \quad (4)$$

$$T_H = t_H + 273,15, \quad (5)$$

де $p_{\text{БАР}}$, $p_{\text{ВАК}}$ – тиск, відповідно барометричний і вакуумметричний, кПа; t_H – температура насичення, °С.

З аналізу виразів (3 - 5) маємо:

1) щоб знайти теплоту пароутворення, треба вміти користуватися таблицями теплофізичних властивостей води та водяної пари [3] і знати фазові діаграми $p - v$, $T - s$, $h - s$;

2) в наведені залежності входять величини $p_{\text{БАР}}$, $p_{\text{ВАК}}$ та t_H , які необхідно вимірювати при проведенні експериментів.

3 ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЇ УСТАНОВКИ

Схема установки для дослідження процесу утворення водяної пари при тисках, менших або рівних атмосферному (барометричному), зображена на рис. 2. Основні елементи установки: посудина з водою (1), до дна якої закріплено електронагрівач (2); регулюючий вентиль ротаметра (11), зв'язаний з атмосферою; водоструминний інжектор (10); лабораторний трансформатор (8), що слугує для зміни напруги електричного струму, що подається на спіраль електронагрівача; значення напруги на електронагрівачі фіксується вольтметром (9).

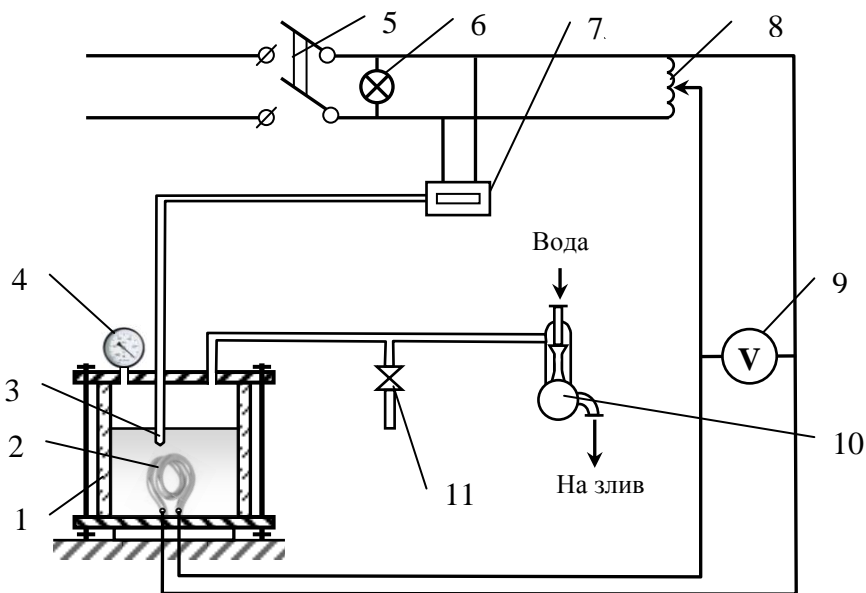


Рис. 3 Схема експериментальної установки.

Барометричний тиск $p_{\text{БАР}}$ вимірюється барометром типу БР-52. Розрідження в посудині $p_{\text{ВАК}}$ фіксується пружинним вакуумметром (4) типу ОБВІ-100 (клас точності 2,5).

Температура насиченої пари вимірюється мідним термометром опору ТСМ-50 третього класу точності (3). Дія термометра опору базується на властивості міді змінювати свій електричний опір зі зміною температури. В якості вторинного пристрою, що працює з термометром опору, використовується мілівольтметр А-566 (7).

Експериментальна установка працює таким чином. За допомогою вимикача (5) усі елементи установки вмикаються до електрич-

ної мережі, при цьому загоряється сигнальна лампочка лабораторного стенду (6).

Вода, що знаходиться у посудині (1), нагрівається до температури кипіння за допомогою електронагрівача (2), потужність якого регулюється трансформатором (8). Пароповітряна суміш відсмоктується з посудини водоструминним інжектором (10), що працює при подаванні води із водопровідної мережі. Розрідження, що створюється у посудині, вимірюється вакуумметром (4). Температура насичення у градусах Цельсія відображається на передній панелі приладу А-566. Регулюючий вентиль ротаметра (11) дозволяє частково або повністю з'єднати порожнину посудини (1) з атмосферою і тим самим змінювати у посудині тиск, який відповідає тиску насиченої водяної пари.

4 ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Увага! Включення і виключення лабораторної установки проводиться тільки лаборантом або викладачем.

1. До виконання лабораторної роботи на установці допускаються лише студенти, що ознайомилися з методичними вказівками, правилами безпеки із записом у відповідному журналі та підготували протокол до лабораторної роботи.

2. До одночасної роботи на установці допускається не більше п'яти студентів.

3. Дослідження проводяться лише під наглядом викладача чи лаборанта.

4. Категорично заборонено самостійно переключати систему регулювання режимами.

5. У разі виникнення будь-яких проблем необхідно терміново повідомити про це викладача. Про всі помічені несправності на установці негайно доповідати викладачеві, і до їх повного усунення до виконання роботи не приступати.

5 ПОРЯДОК І РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

Експеримент по дослідженню кривої пружності водяної пари проводять у три етапи: 1) включення установки; 2) робота установки в стаціонарному режимі; 3) виключення лабораторного стенда.

При певному тиску в посудині цей режим настає тоді, коли вся теплота, підведена від електронагрівача, витрачається на кипіння води та втрати теплоти в навколишнє середовище і не витрачатиметься на нагрівання води і самої посудини до температури кипіння.

Після вмикання установки і фіксації певного тиску в посудині потрібен певний час, щоб установка вийшла на стаціонарний режим. Якщо виміри показів приладів проводити під час виходу лабораторного стенда на стаціонарний режим, одержані результати не відповідатимуть фізичним уявленням про процес.

При виході установки на стаціонарний режим необхідно враховувати, що збільшення напруги, а відтак і потужності електронагрівача призводить до того, що час нагрівання води до температури насичення зменшується і кількість пари, яка утворюється за одиницю часу на поверхні розподілу фаз, різко збільшується.

При цьому продуктивність водоструминного насосу може виявитися недостатньою для відсмоктування пари з посудини. Кипіння може йти так інтенсивно, що краплі води виносяться потоком пари у водоструминний інжектор і він “захлинається”. Установка перестає працювати.

Якщо ж напруга на електронагрівачі буде низькою, то навіть при значному розрідженні у посудині вода не закипить протягом значного часу. У зв’язку з цим досліди необхідно проводити з урахуванням продуктивності водоструминного інжектора, що створює розрідження $p_{\text{ВАК}}$, і залежно від інтенсивності процесу пароутворення, яка визначається показами вольтметра U .

На рис. 3 зображений графік $U = f(p_{\text{ВАК}})$, за яким для даного розрідження в посудині, можна вибрати значення напруги на електронагрівачі. При цьому інтенсивність пароутворення не

порушує роботи інжектора і забезпечує час виходу на стаціонарний режим не більше 10...15 хв.

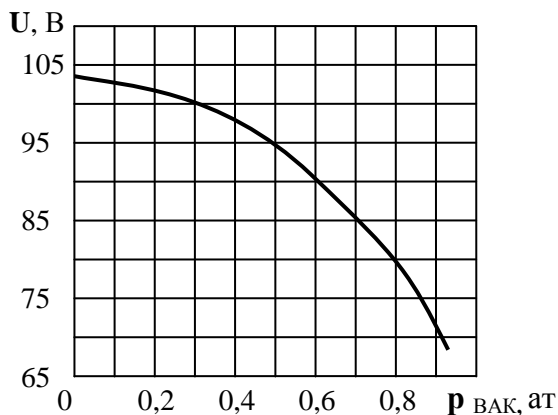


Рис. 3. Залежність напруги від тиску в посудині з водою.

Експеримент можна проводити тільки в стаціонарному режимі роботи установки, коли при постійних показках вакуумметра та вольтметра в посудині з водою візуально спостерігається процес кипіння, а вторинний прилад А-566 (7) показує числові значення температури, що незначно відрізняються один від одного.

Перший дослід студенти виконують при показках вакуумметра 0,8 ат та вольтметра 80 В. Регулюють покази вакуумметра під час досліду поворотом вентиля ротаметра (11). Значення величин, що фіксуються барометром, вакуумметром і приладом А-566, заносяться до таблиці 1.

Результати вимірювань

Таблиця 1

Номер досліджу	Номер вимірювання (i = 1, 2, ..., n)	Тиск		Температура насиченої пари t_H , °C
		$p_{\text{ВАК}}$, ат	$p_{\text{БАР}}$, кПа	
1	1			
	2			
	3			
	ср.			
2	1			
	2			
	3			
	ср.			
3	1			
	2			
	3			
	ср.			
4	1			
	2			
	3			
	ср.			
5	1			
	2			
	3			
	ср.			

Після запису дослідних даних експеримент у тому самому режимі ($p_{\text{ВАК}} = 0,8$ ат, $U = 80$ В) повторюється через кожні 2 хв. доти, поки значення трьох сусідніх вимірів не будуть практично однаковими. Перехід до нового досліджу здійснюється поворотом регулюючого вентиля ротаметра та встановленням стрілки вакуумметра у нове положення. При цьому напруга на електронагрівачі встановлюється згідно з графіком (рис. 3). Досліди слід про-

водити при показах вакуумметра, зазначених викладачем (наприклад, 0,8; 0,6; 0,4; 0,2; 0 ат).

6 ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДІВ

Визначимо абсолютний тиск та абсолютну температуру насиченої водяної пари за рівняннями (4) і (5). Для зручності подальших обчислень абсолютний тиск доцільно виразити у кілопаскалях. Тому використовують відомі співвідношення ($1 \text{ ат} = 0,98 \text{ бар}$, $1 \text{ бар} = 10^2 \text{ кПа}$).

За таблицями теплофізичних властивостей води та водяної пари (див. додаток 1) [3] згідно з температурою насичення T_H для кожного досліду обираємо табличні значення тиску насиченої пари $p_H^{\text{ТАБЛ}}$, значення питомих об'ємів сухої насиченої пари v'' та киплячої води v' , теплоту пароутворення $r^{\text{ТАБЛ}}$. Знайдені величини заносяться у табл. 2.

На міліметровці або «сторінці в клітинку» дослідні дані p_H та T_H нанести на діаграму $p_H = f(T_H)$ і побудувати осереднену криву насичення (рис. 3), вибравши максимально можливі масштаби на осях.

Методом графічної інтерполяції побудувати плавну гладку криву насичення, використовуючи гнучку лінійку (кількість дослідних точок над і під кривою має бути приблизно однаковою).

Номер дослідів	T_H , К	$p_H^{ТАБЛ.}$, к Па	$v^{//}$, м ³ /кг	v , м ³ /кг	$r^{ТАБЛ.}$, кДж/кг
1					
2					
3					
4					
5					

За допомогою отриманої залежності $p_H = f(T_H)$, графічним способом знаходимо величину похідної $\frac{dp_H}{dT_H}$ для всіх експериментальних значень T_H , тобто визначаємо похідні за величиною кутів нахилу дотичних до кривої насичення в точках із заданою температурою T_H :

$$\frac{dp_H}{dT_H} \cong \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta p_H}{\Delta T_H} = \frac{p_B - p_A}{T_B - T_A}. \quad (5)$$

При цьому слід пам'ятати, що тангенс кута нахилу дотичної повинен бути обчислений з урахуванням масштабів, прийнятих на графіку для температур і тисків. Графічний спосіб знаходження $\frac{dp_H}{dT_H}$ ілюструється на рис. 4. Як приклад показано визначення значення $\frac{dp_H}{dT_H}$ при температурі насичення в експериментальній точці 1. Дотична АВ проводиться до кривої насичення в тій її точці 1', яка відповідає значенню температури насичення в експериментальній точці. На дотичній довільно вибираються то-

чки А і В. При цьому відстані від дотичної до кривої на рівних плечах від заданої точки повинні бути приблизно однаковими. За значенням тисків і температур в цих точках знаходяться різниці Δp і ΔT . В даному прикладі:

$$\Delta p = p_B - p_A = 60 \text{ кПа}, \Delta T = T_B - T_A = 26 \text{ К і,}$$

отже:

$$\frac{dp_H}{dT_H} = \frac{\Delta p}{\Delta T} = \frac{60}{26} = 2,3 \frac{\text{кПа}}{\text{К}}.$$

За рівнянням Клайперона-Клаузіуса (3) розраховуються теплоти пароутворення для заданих значень температури насичення. Значення T_H , v'' , v' для кожного досліду беремо з таблиці 2.

В роботі розраховують відносні похибки визначених величин.

Знаходження відносної похибки δp_H , % розрахункового значення абсолютного тиску відносно табличних значень (див. табл. 2) виконують за формулою:

$$\delta p_H = \frac{|p_H - p_{H \text{ табл}}|}{p_{H \text{ табл}}} \cdot 100\%. \quad (6)$$

Аналогічно знаходять відносну похибку δr , % розрахункових значень теплоти пароутворення:

$$\delta r \% = \frac{|r - r_{\text{табл}}|}{r_{\text{табл}}} \cdot 100\%. \quad (7)$$

Результати обчислень заносяться до таблиці 3.

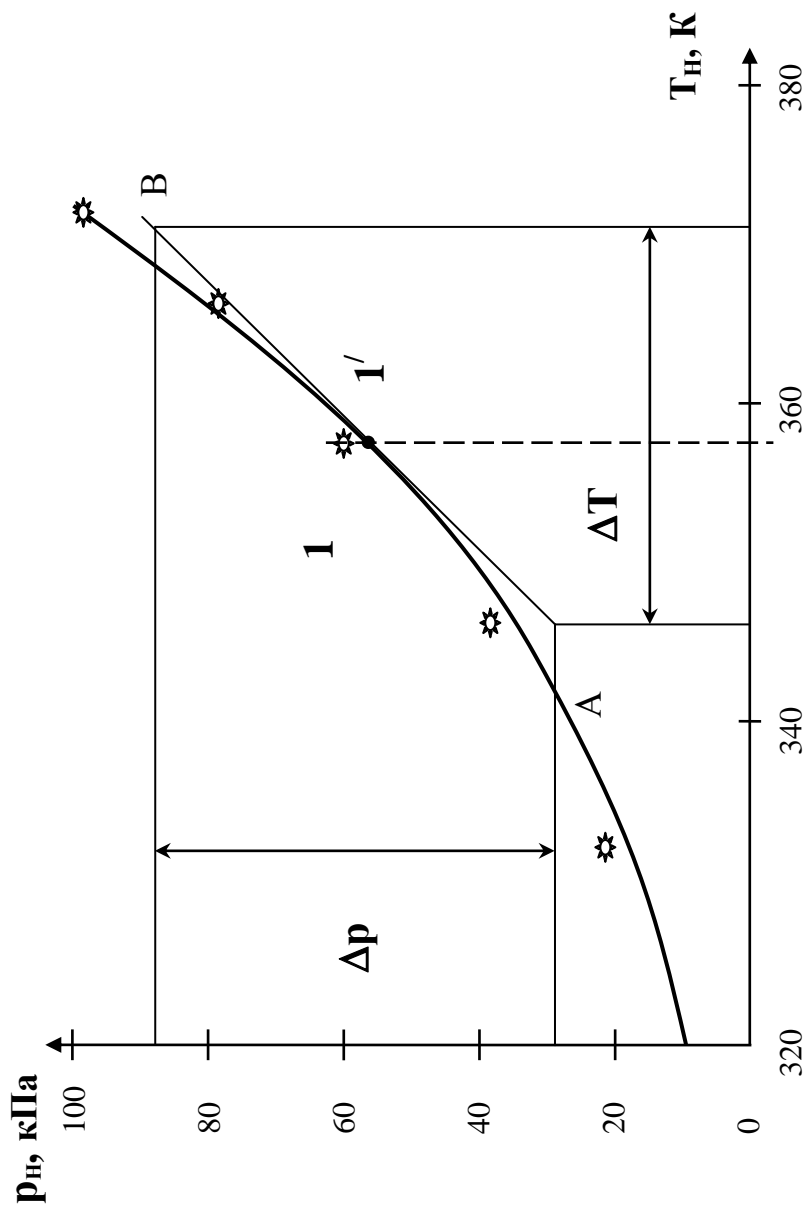


Рис.4. Графік залежності $p_H = f(T_H)$.

Результати розрахунків

Таблиця 3

Номер досліджу	$t_n, ^\circ\text{C}$	T_n, K	Тиск насиченої пари			$\frac{dp_n}{dT_n}$ кПа/К	Теплота пароутворення		
			$p_n, \text{кПа}$	$p_n^{\text{ТАБЛ}}, \text{кПа}$	$\delta p_n, \%$		$r, \text{кДж/кг}$	$r^{\text{ТАБЛ}}, \text{кДж/кг}$	$\delta r, \%$
1									
2									
3									
4									
5									

Контрольні запитання

1. Що називається випаровуванням, конденсацією, плавленням, затвердінням, сублімацією?
2. Чим відрізняються фазові переходи першого та другого роду?
3. Що таке фазовий перехід?
4. Накресліть $p - T$ діаграму водяної пари, вкажіть її особливості.
5. Яким станом речовини H_2O відповідають точки, розміщені на $p - T$ діаграмі?
6. Дайте визначення критичного стану реального робочого тіла. Які параметри його характеризують?
7. За яких умов відбувається пароутворення?
8. Що таке теплота пароутворення?
9. Як рівняння Клайперона - Клаузіуса використовується для знаходження теплоти пароутворення?
10. Що являють собою таблиці водяної пари? Яке їх призначення та зміст?
11. Як за допомогою таблиць водяної пари знаходять параметри киплячої рідини?
12. Як визначають параметри сухої насиченої пари за допомогою таблиць?
13. Яка методика проведення експерименту по дослідженню кривої пружності водяної пари?

14. Які величини вимірювалися при виконанні лабораторної роботи? Дайте характеристику приладів, використаних з цією метою.
15. Навести порядок обробки експериментальних даних.
16. Як визначити похідну від тиску за температурою $\frac{dp_H}{dT_H}$?
17. Як працює водоструминний інжектор?
18. Для чого використовується мілівольметр А-566?
19. Чим вимірюється температура в посудині і на чому базується його принцип дії ?
20. Чим фіксується розрідження в посудині $p_{\text{вак}}$ в роботі?
21. Як визначаються відносні похибки визначення p та r ?

Список літератури

1. Константінов С.М., Панов Є.М. Теоретичні основи тепло-техніки: підручник. – К.: «Золоті ворота», 2012. – 592 с.
2. Константінов С.М., Луцик Р.В. Збірник задач з технічної термодинаміки та теплообміну. Навч. посіб. К.: ІВЦ “Видавництво “Політехніка”, 2009. – 546 с.
3. Рывкин С.Л., Александров А.А. Термодинамические свойства воды и водяного пара: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 80 с.

Таблица властивостей води та водяної пари

t_H °C	p_H кПа	v' м ³ /кг	v'' м ³ /кг	h' кДж/кг	h'' кДж/кг	g кДж/кг
0	0,6108	0,0010002	206,32	-0,04	2501,0	2501,0
1	0,6566	0,0010002	192,61	4,17	2502,8	2498,6
2	0,7054	0,0010001	179,94	8,39	2504,7	2496,3
3	0,7575	0,0010001	168,17	12,60	2506,5	2493,9
4	0,8129	0,0010000	157,27	16,80	2508,3	2491,5
5	0,8718	0,0010000	147,17	21,01	2510,2	2489,2
6	0,9346	0,0010000	137,768	25,21	2512,0	2486,8
7	1,0012	0,0010001	129,061	29,41	2513,9	2484,5
8	1,0721	0,0010001	120,952	33,60	2515,7	2482,1
9	1,1473	0,0010002	113,423	37,80	2517,5	2479,7
10	1,2271	0,0010003	106,419	41,99	2519,4	2477,4
11	1,3118	0,0010003	99,896	46,19	2521,2	2475,0
12	1,4015	0,0010004	93,828	50,38	2523,0	2472,6
13	1,4967	0,0010006	88,165	54,57	2524,9	2470,2
14	1,5974	0,0010007	82,893	58,75	2526,7	2467,9
15	1,7041	0,0010008	77,970	62,94	2528,6	2465,7
16	1,8170	0,0010010	73,376	67,13	2530,4	2463,3
17	1,9364	0,0010012	69,087	71,31	2532,2	2460,9
18	2,0626	0,0010013	65,080	75,50	2534,0	2458,5
19	2,1960	0,0010015	61,334	79,68	2535,9	2456,2
20	2,3368	0,0010017	57,833	83,86	2537,7	2453,8
21	2,4855	0,0010019	54,556	88,04	2539,5	2451,5
22	2,6424	0,0010022	51,488	92,22	2541,4	2449,2
23	2,8079	0,0010024	48,615	96,41	2543,2	2446,8
24	2,9824	0,0010026	45,923	100,59	2545,0	2444,4
25	3,1663	0,0010030	43,399	104,77	2546,8	2442,0
26	3,3600	0,0010032	41,031	108,95	2548,6	2439,6
27	3,5639	0,0010034	38,811	113,13	2550,4	2437,3
28	3,7785	0,0010037	36,726	117,31	2552,3	2435,0
29	4,0043	0,0010040	34,768	121,48	2554,1	2432,6
30	4,2417	0,0010043	32,929	125,66	2555,9	2430,2
31	4,4913	0,0010046	31,199	129,84	2557,7	2427,9
32	4,7536	0,0010049	29,572	134,02	2559,5	2425,5
33	5,0290	0,0010053	28,042	138,20	2561,4	2423,2

t_H	p_H	v'	v''	h'	h''	r
34	5,3182	0,0010056	26,602	142,38	2563,2	2420,8
35	5,6217	0,001060	25,246	146,56	2565,0	2418,4
36	5,9401	0,0010063	23,968	150,74	2566,8	2416,1
37	6,2740	0,0010067	22,764	154,92	2568,6	2413,7
38	6,6240	0,0010070	21,629	159,09	2570,4	2411,3
39	6,9907	0,0010074	20,558	163,27	2572,2	2408,9
40	7,3749	0,0010078	19,548	167,45	2404,2	2406,5
41	7,7772	0,0010082	18,594	171,63	2575,8	2404,2
42	8,1983	0,0010086	17,694	175,81	2577,6	2401,8
43	8,6390	0,0010090	16,843	179,99	2579,4	2399,4
44	9,0998	0,0010094	16,039	184,17	2581,1	2396,9
45	9,5817	0,0010099	15,278	188,35	2394,5	2394,5
46	10,085	0,0010103	14,559	192,53	2584,7	2392,2
47	10,612	0,0010107	13,879	196,71	2586,5	2389,8
48	11,161	0,0010112	13,236	200,89	2588,3	2387,4
49	11,735	0,0010116	12,626	205,07	2590,1	2385,0
50	12,335	0,0010121	12,048	209,26	2382,5	2382,5
51	12,960	0,0010126	11,501	213,44	2593,6	2380,2
52	13,612	0,0010131	10,982	217,62	2595,4	2377,8
53	14,292	0,0010136	10,490	221,80	2597,2	2375,4
54	15,001	0,0010140	10,024	225,98	2598,9	2372,9
55	15,740	0,0010145	9,5812	230,17	2600,7	2370,5
56	16,510	0,0010150	9,1609	234,35	2602,4	2368,1
57	17,312	0,0010156	8,7618	238,54	2604,2	2365,7
58	18,146	0,0010161	8,3831	242,72	2606,0	2363,3
59	19,015	0,0010166	8,0229	246,91	2607,7	2360,8
60	19,919	0,00101712	7,6807	251,09	2609,5	2358,4
61	20,859	0,0010177	7,3554	255,28	2611,2	2355,9
62	21,837	0,001082	7,0458	259,46	2613,0	2353,5
63	22,854	0,0010188	6,7512	263,65	2614,7	2351,1
64	23,910	0,0010193	6,4711	267,84	2616,4	2348,6
65	25,008	0,0010199	6,2042	272,02	2618,2	2346,2
66	26,148	0,0010205	5,9502	276,21	2619,9	2343,7
67	27,332	0,0010211	5,7082	280,40	2621,6	2341,2
68	28,561	0,0010217	5,4775	284,59	2623,3	2338,7
69	29,837	0,0010222	5,2576	288,78	2625,1	2336,3
70	31,161	0,0010228	5,0479	292,97	2626,8	2333,8

t _H	p _H	v	v''	h'	h''	r
71	31,161	0,0010228	5,0479	292,97	2626,8	2333,8
72	32,533	0,0010235	4,8481	297,16	2628,5	2331,3
73	33,957	0,0010241	4,6574	301,36	2630,2	2328,8
74	35,433	0,0010247	4,4753	305,55	2631,9	2326,3
75	36,963	0,0010253	4,3015	309,74	2633,6	2323,9
76	40,190	0,0010266	3,9771	318,13	2637,0	2318,9
77	41,890	0,0010272	3,8257	322,33	2638,7	2316,4
78	43,650	0,0010279	3,6811	326,52	2640,4	2313,9
79	45,473	0,0010285	3,5427	330,72	2642,1	2311,4
80	47,359	0,0010292	3,4104	334,92	2643,8	2308,9
81	49,310	0,0010299	3,2839	339,11	2645,4	2306,3
82	51,328	0,0010305	3,1629	343,31	2647,1	2303,8
83	53,415	0,0010312	3,0471	347,51	2648,8	2301,3
84	55,572	0,0010319	2,9362	351,71	2650,4	2298,7
85	57,803	0,0010326	2,8300	355,92	2652,1	2296,2
86	60,107	0,0010333	2,7284	360,12	2653,7	2293,6
87	62,488	0,0010340	2,6309	364,32	2655,4	2291,1
88	64,947	0,0010347	2,5376	368,53	2657,0	2288,5
89	67,486	0,0010354	2,4482	372,73	2658,7	2286,0
90	70,,108	0,0010361	2,3624	376,94	2660,3	2283,4
91	72,814	0,0010369	2,2801	381,15	2661,9	2280,7
92	75,607	0,0010376	2,2012	385,36	2663,5	2278,1
93	78,488	0,0010384	2,1256	389,57	2665,2	2275,6
94	81,460	0,0010391	2,0529	393,78	2666,8	2273,0
95	84,525	0,0010398	1,9832	397,99	2668,4	2270,4
96	87,685	0,0010406	1,9163	402,20	2670,0	2267,8
97	90,943	0,0010414	1,8520	406,42	2671,6	2265,2
98	94,301	0,0010421	1,7902	410,63	2673,2	2262,6
99	97,760	0,0010429	1,7309	414,85	2674,8	2259,9
100	101,325	0,0010434	1,6738	419,06	2676,3	2257,2
101	105,00	0,0010445	1,6190	423,28	2677,9	2254,6
102	108,78	0,0010453	1,5664	427,50	2679,5	2252,0
103	112,67	0,0010461	1,5157	431,73	2681,0	2249,3
104	116,68	0,0010469	1,4669	435,95	2682,6	2246,6
105	120,80	0,0010477	1,4200	440,17	2684,1	2243,9
106	125,04	0,0010485	1,3749	444,40	2685,7	2241,3